Journal of Agricultural Economics and Development
Vol. 32, No. 2, Summer 2018, p. 139-153

نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی
جلد ۳۲، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷، ص. ۱۵۳-۱۳۹

اندازه‌گیری ریسک عملکرد ناشی از تغییر اقلیم در گندم دیم شهرستان اهر: کاربرد رهیافت ارزش در معرض خطر آب و هوا

قادر دشتی[1]*- پریا باقری[2]- اسماعیل پیش‌بهار[3]- ابوالفضل مجنونی[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۳/۰۲

چکیده

اقلیم یکی از اساسی‌ترین عوامل طبیعی است که تغییر آن از مهم‌ترین چالش‌های قرن جاری می‌باشد. انتشار روز افزون گازهای گلخانه‌ای به عنوان مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر تغییر اقلیم منجر به تغییر دما، بارندگی و دیگر پارامترهای اقلیمی می‌شود. بخش کشاورزی در مقایسه با سایر بخش‌ها بیشتر در معرض آسیب‌های ناشی ا ز تغییر اقلیم است به طوری که تغییر الگوی بارش و دمای متوسط جو، بر تولید انواع محصولات باغی و زراعی که عمده‌ترین منابع غذایی کشور را تشکیل می‌دهند، آسیب وارد می‌کند. مدیریت ریسک در بخش کشاورزی به ویژه ریسک آب و هوا از اهمیت خاصی برخوردار است اما استراتژی مدیریت ریسک بدون شناسایی و اندازه‌گیری آن نمی‌تواند به درستی اجرا شود. از این رو مطالعه حاضر درصدد است ریسک عملکرد ناشی از تغییر اقلیم گندم دیم شهرستان اهر در دو دوره پایه (۱۳۹۴- ۱۳۶۵) و آتی (۱۴۲۴-۱۳۹۵) را با بکارگیری مدل ارزش در معرض خطر (VaR) و ارزش در معرض خطر شرطی (CVaR) آب و هوا، مدل آکواکراپ، مدل گردش عمومی جو HadCM3 تحت سناریو انتشار A2 و ریزمقیاس نمایی Lars-wg اندازه‌گیری کند. برای این منظور اطلاعات هواشناسی در دوره (۲۰۱۵-۱۹۸۶) و عملکرد سال‌های زراعی ۹۴-۱۳۷۰ شهرستان اهر گردآوری شد. نتایج مطالعه نشان می‌دهد که در دوره آتی متغیرهای بارش (به میزان ۹/۱۵ میلی‌متر)، حداکثر دما (۰/۶۳ درجه سانتی‌گراد)، حداقل دما (۰/۵۶ درجه سانتی‌گراد)، تابش خورشیدی (۰/۰۶ مگاژول بر متر مربع در روز)، حداکثر رطوبت نسبی (۰/۶۱- درصد) و حداقل رطوبت نسبی (۰/۲۹- درصد)، سرعت باد (۰/۰۳ متر بر ثانیه) و تبخیر و تعرق (۱۸/۴۸ میلی‌متر بر سال) به مقادیر فوق تغییر پیدا می‌کنند. براساس تغییر متغیرهای آب و هوایی متوسط عملکرد در دوره پایه از ۰/۹۵۴ به میزان ۰/۹۹۹ تن در هکتار در دوره آتی افزایش یافت. برای اندازه‌گیری ریسک توزیع بتا و ویکبای برای عملکرد مناسبترین توزیع انتخاب شد. مقدار کاهش ریسک عملکرد در سطوح احتمالاتی ۱، ۵ و ۱۰ درصد در روش VaR برای توزیع بتا ۰/۱۳۹، ۰/۸۳ و ۰/۶۱ و برای توزیع ویکبای ۰/۲۹۷، ۰/۸۱ و ۰/۳۱ تن در هکتار و در روش CVaR در توزیع ۰/۱۵۸، ۰/۱۱۵ و ۰/۹۳ و برای توزیع ویکبای ۰/۴۰۳، ۰/۱۴۸ و ۰/۷۷ تن در هکتار بدست آمد. براساس نتایج مطالعه تبخیر و تعرق یکی از متغیرهایی است که موجب افزایش ریسک عملکرد می‌شود از این رو برای کاهش تبخیر و تعرق از سطح خاک استفاده از خاک‌پوش‌های طبیعی و مصنوعی به کشاورزان توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: ارزش در معرض خطر، اهر، تغییرات اقلیم، ریسک آب و هوا، گندم دیم

مقدمه

تولید در بخش کشاورزی با سایر بخش‌های اقتصادی تفاوت‌هایی دارد، زیرا علاوه بر مخاطراتی که بخش‌های اقتصادی را مورد تهدید قرار می‌دهد عوامل طبیعی نیز تولید و درآمد در این بخش را به شدت با چالش مواجه می‌سازد. اقلیم را می‌توان از اساسی‌ترین عوامل طبیعی دانست که تغییر آن یکی از مهم‌ترین چالش‌های قرن جاری است. انتشار روزافزون گازهای گلخانه‌ای به عنوان مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر تغییر اقلیم منجر به تغییر دما، بارندگی و دیگر متغیرهای اقلیمی شده و در نهایت باعث تغییر در میزان رطوبت خاک، افزایش سطح آب

دریاها، افزایش دما و وقوع سیل و خشکسالی در بسیاری از مناطق دنیا شده است (۱۲). از این رو انتظار می‌رود بخش کشاورزی به عنوان تأثیرپذیرترین بخش اقتصادی به تغییرات آب و هوا در

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب استاد، کارشناس ارشد و دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
(*- نویسنده مسئول: Email: ghdashti@yahoo.com)
۴- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
DOI: 10.22067/jead2.v32i2.68545

معرض این خطرات قرار بگیرد (۳۰). تـأثیراتی کـه ریسـک ناشـی از تغییر اقلیم انتظار می‌رود در این بخش داشـته باشـد شـامل تغییـر در عملکرد و کیفیت محصول بـه دلیـل دمـای بـالا و تغییـر در الگـوی بارندگی است (۲۴). انتظار می‌رود در آینده نیز افزایش دمـا، تغییـر در مقدار و الگوهای بارش و افزایش در تکرار و شدت مخاطرات محیطی مانند خشکسالی، دوره‌های گرمایی، سیل و آتش‌سوزی رخ دهد (۳۳).

هر گونه تغییر در مولفه‌های بارش و دما، بر میزان تبخیر- تعـرق نیز تـأثیر خواهـد گذاشـت در نتیجـه کیفیـت و عملکـرد محصـولات کشاورزی در معرض ریسک تغییر اقلیم قرار خواهند گرفت. همچنـین به دلایل ریسکی بودن فعالیت‌های کشاورزی و کاهش عملکرد ناشی از تغییر اقلیم انتظار می‌رود سرمایه‌گـذاری و صـادرات در ایـن بخـش کاهش و واردات و وابستگی کشور به سایر کشورها افزایش یابد که به نوبه‌ی خود، تأثیر منفی بر تراز تجاری اقتصاد دارند. از این رو معمـولاً برای اجتناب و یا به حداقل رساندن آثار ریسک آب و هوایی در بخش کشاورزی اقداماتی انجـام مـی‌گیـرد کـه مـی‌تـوان بـه صـورت زیـر گروه‌بندی کرد: ۱- اقدامات مدیریتی ۲- اقدامات فنی و تجهیزات ۳- اقدامات سیاستی و اقتصادی ۴- اقـدامات زیـر بنـایی (۲۴). اقـدامات سازگاری که در بالا ذکر شد تا حدودی عمومی است و که برای درک تأثیرات اقدامات نیاز به کمیت ریسک تولیدات کشاورزی دارد. ولی به طور کلی ریسک آب و هوایی ناشی از تغییر اقلیم در تقسیم‌بندی خطرات بخش کشاورزی در قسمت شدت پایین خسارت با فروانی بالا قرار می‌گیرد (۲۳)، همچنین این نوع ریسک جـزو ریسـک‌هـای غیـر مصیبت‌بار آب و هوا است و در بلندمدت اتفاق می‌افتـد و تـأثیرات آن نامحسوس می‌باشد. از این رو در مقایسه با ریسک‌هـای محسـوس و مصیبت‌بار آب و هوا کمتر مورد توجه است به طوری کـه زیـان‌هـای ناشی از ریسک‌های مصیبت‌بـار توسـط بیمـه محصـولات کشـاورزی پوشش داده می‌شود اما برای ریسک‌های غیر مصیبت‌بار فقط اقدامات مدیریتی مزرعه مؤثر است. که این مسئله اهمیت ریسک آب و هوایی غیر مصیبت‌بار را دو چندان می‌کند. با این وجـود بـه دلیـل وابسـتگی تولیدات کشاورزی به آب و هوا ریسک تغییر اقلـیم تـأثیر بسـزایی در بلندمدت در تولیدات کشاورزی می‌گذارد. از این رو نیاز است تا مقـدار این ریسک نامحسوس کمی شود تا در اقدامات مدیریتی بیش از پیش مورد توجه قرار گیرد.

براساس مطالعات صورت گرفته در داخل کشور دمـای کشـور تـا سال ۲۱۰۰ به طور متوسـط ۵-۳ درجـه افـزایش و بارنـدگی ۱۹-۱۱ درصـد کـاهش خواهـد یافـت (۲۰، ۸ و ۲). بـر ایـن اسـاس تولیـد محصولات کشاورزی نیز در معرض ریسک خواهند بود کـه براسـاس گزارش سازمان حفاظت محیط‌زیست پیش‌بینی می‌شود، تولید غـلات کشور (که با سطح زیر کشت معـادل ۷۳/۱ درصـد عمـده‌تـرین نـوع محصولات سالانه کشور می‌باشد) تـا سـال ۲۰۲۰ بـین صـفر الـی ۵ درصد، تا سال ۲۰۵۰ بین ۲/۵ الی ۱۰ درصد و تا سـال ۲۰۸۰ بـین ۵ الی ۳۰ درصد کاهش یابد (۷).

در بـین گـروه غـلات نیـز گنـدم در سـال زراعـی ۹۳-۱۳۹۲ بـا بیشترین سطح زیر کشت معـادل ۵۱/۲۰ درصـد مهمتـرین محصـول کشاورزی کشور بوده است. استان آذربایجان شرقی با سطح زیر کشت ۶/۴۰ درصد گندم کل کشور رتبه ششم در تولید ایـن محصـول را بـه خود اختصاص داده است که ۷۸/۷ درصد سطح زیر کشت اسـتان بـه گندم دیم و ۲۱/۳ درصـد آن بـه گنـدم آبـی اختصـاص دارد (۲۲). در میـان شهرسـتان‌هـای اسـتان، اهـر بـه عنـوان یکـی از بزرگتـرین تولیدکنندگان گنـدم، ۵/۹۵ درصـد سـطح زیرکشـت اسـتان را بخـود اختصاص داده که در این بین، سهم اراضی دیم ۸۹/۳۵ و اراضی آبـی ۱۰/۶۵ درصد می‌باشد (۱۵). تغییرات بارندگی و دما ریسک‌های آب و هوایی را برای گندم دیم نشان مـی‌دهنـد کـه مهـم‌تـرین متغیرهـای نشان‌دهنده تغییر اقلیم هستند. معمولاً بیشترین میزان وابسـتگی بـین عملکرد گندم و میزان بارندگی اتفاق می‌افتد به گونـه‌ای کـه ضـریب همبستگی بین عملکرد گندم شهرستان اهر و بارندگی در فصل رشـد گندم (مهر تا تیر ماه) ۰/۴۵ بدسـت آمـد کـه نشـان مـی‌دهـد بیشـتر تغییرات عملکرد توسط بارش توضیح داده می‌شـود. از ایـن رو انتظـار می‌رود پدیده تغییر اقلیم بر تولید گندم دیـم در شهرسـتان اهـر تـأثیر به‌سزایی داشته باشد که هدف مطالعه حاضر در این راستا می‌باشد.

تاکنون مطالعات گسترده‌ای در خصوص بررسی تأثیر تغییر اقلـیم بر تولید محصولات کشاورزی در داخل و خارج صورت گرفتـه اسـت. کوچکی و کمالی (۱۹) در تحقیقی با استفاده از مدل گـردش عمـومی (GCM)[1] میزان کاهش گندم دیم در اثر تغییر اقلیم را در کشـور بـین دو دوره ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ شبیه‌سازی کردند. نتایج شبیه‌سازی نشـان داد که شدت کاهش عملکرد گندم دیم در مناطق دیم‌خیـز کشـور بـرای سال ۲۰۲۵ در محدوده ۱۶ تا ۲۴ درصد و برای سـال ۲۰۵۰ مـیلادی در دامنه ۲۲ تـا ۳۲ درصـد مـی‌باشـد. در مطالعـه‌ای دیگـر آبابـایی و همکاران (۱) تغییرات اقلیم و تأثیر ریسک ناشی از آن را بـر عملکـرد گندم با استفاده از مدل SWAP در منطقـه رودشـت اصـفهان بـرای دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که متوسط عملکرد نسبی محصول تحت دو سناریو تغییر اقلیم A2 و B1 نسـبت به سناریو مبنا (۱۹۹۰-۱۹۶۱)، به ترتیب ۱/۴۹ و ۲/۱ درصد و متوسط عملکرد دانه گندم بـه ترتیـب ۴/۱۹ و ۱۷/۹ درصـد کـاهش خواهنـد یافت. همچنین بسکابادی و همکاران (۵) اثر تغییر اقلـیم ناشـی از دو برابر شدن غلظت CO_2 را که بر دما و بارندگی تأثیر می‌گذارد، بر تولید گندم در دوره زمانی ۱۴۰۰-۱۳۷۹ با در نظر گرفتن عوامـل اقتصـادی

1- General Circulation Model

با استفاده از مدل برنامه‌ریزی غیرخطی در مشهد مورد بررسی قرار دادند. براساس یافته‌های پژوهش عملکرد بهینه گندم از ۱۳۳۱/۴۵ کیلوگرم در هکتار در سال پایه به ۱۹۵۵/۳۲ کیلوگرم در هکتار در سال هدف تغییر کرده است. همچنین پیش‌بینی می‌شود ۲۳ درصد مصرف آب و ۸۱ درصد مصرف کود در سال ۱۴۰۰ نسبت به سال پایه بیشتر شود. پیش بهار و همکاران (۲۷) آثار تغییرات اقلیمی را بر عملکرد ذرت دانه‌ای در ایران با استفاده از مدل ریکاردین و روش اقتصادسنجی فضایی در سه اقلیم گرم، معتدل و سرد طی دوره ۹۱-۱۳۷۰ بررسی نموده و نتیجه گرفتند که شدت نوسانات تغییرات اقلیمی در هر سه اقلیم مطالعه شده به اندازه‌ای بوده است که به عنوان عامل‌های ریسک سیستماتیک شناسایی شوند. از بین مطالعات خارجی بلانس (۳) تأثیر تغییرات اقلیم را در عملکرد چهار محصول مهم (ارزن، ذرت، سورگوم و منهوت) در ۳۷ کشور جنوب صحرای آفریقا طی دوره زمانی سال‌های ۲۰۰۲-۱۹۶۱ ضمن استفاده از یک مدل گردش عمومی جو (GCMs) ارزیابی کرد. نتایج مطالعه مبنی بر تغییر عملکرد تا سال ۲۱۰۰ در محدوده ۱۹- درصد تا ۶ درصد برای ذرت از ۳۸- درصد تا ۱۳-درصد برای ارزن و ۴۷- درصد تا ۷- درصد برای سورگوم می‌باشد و عملکرد منهوت بدون تغییر مانده است. همچنین پریتین سلیر و همکاران (۳۰) ریسک اقتصادی حاصل از نوسانات آب و هوا را در بین دو دوره پایه (۲۰۰۰-۱۹۷۱) و آینده (۲۰۷۰-۲۰۴۱) در دو بخش صنعت گردشگری و کشاورزی (تولید گندم) ساردینیا ایتالیا با روش ارزش در معرض خطر آب و هوا محاسبه و مقایسه کردند. نتایج مطالعه حاکی از آن است که ریسک درآمدی بخش کشاورزی در هر دو سناریو دوره پایه و آینده بیشتر از بخش گردشگری است. نیل‌برد و همکاران (۲۴) نیز تأثیرات تغییر اقلیم را در مورد گندم دیم جزیره ساردینیا ایتالیا و گوجه فرنگی تونس با استفاده از دو مدل ارزش در معرض خطر و آکواکراپ[1] در بافت‌های مختلف خاک منطقه در دو دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۷۰) و آینده (۲۰۷۰-۲۰۴۰) مدل‌سازی کردند. براساس نتایج حاصله در بیشتر بافت‌های خاک لوم شنی و لوم رسی تولید هر دو محصول به طور قابل توجهی در شرایط اقلیم آینده کاهش می‌یابد در صورتی که تغییرات در مدیریت کشاورزی از قبیل تغییر در تاریخ کاشت گندم همزمان با تغییر الگوهای بارندگی یا مالچ پاشی گوجه فرنگی در کاهش تلفات محصول مؤثر است.

مرور مطالعات فوق بیانگر آن است که تغییر اقلیم یکی از مهم‌ترین چالش‌های قرن جاری بوده و باعث تغییر پارامترهای آب و هوایی از جمله دما و بارش می‌شود که تغییر هر یک از این پارامترها تأثیر بسزایی در عملکرد محصولات کشاورزی از جمله محصولات دیم دارد. با توجه به اینکه گندم مهم‌ترین محصول کشاورزی است مدیریت ریسک آب و هوا در این مورد از اهمیت بالایی برخوردار است این در صورتی است که مدیریت ریسک بدون محاسبه دقیق آن نمی‌تواند به درستی اجرا شود از این رو در این مطالعه سعی شده از یکی از سنجه‌های متداول ریسک برای محاسبه دقیق ریسک عملکرد ناشی از تغییر اقلیم با استفاده از مدل HadCM3[2] تحت سناریو انتشار A2[3] در دو دوره پایه (۱۳۹۴- ۱۳۶۵) و آتی (۱۴۲۴-۱۳۹۵) گندم دیم شهرستان اهر استفاده شود که می‌تواند در برنامه‌ریزی‌ها و طراحی سیستم‌های مدیریتی بسیار مؤثر باشد. بدین ترتیب هدف مطالعه حاضر اندازه‌گیری ریسک عملکرد ناشی از تغییر اقلیم در گندم دیم شهرستان اهر می‌باشد.

مواد و روش‌ها

روشی که در این مطالعه برای محاسبه ریسک عملکرد ناشی از تغییر اقلیم در نظر گرفته شده است به این صورت است که ابتدا روند تغییرات متغیرهای آب و هوایی با استفاده از یک سناریو اقلیمی (مدل HadCM3 تحت سناریو انتشار A2) و مدل ریزمقیاس نمایی lars-wg بررسی و سپس عملکرد محصول با استفاده از مدل آکواکراپ شبیه‌سازی و در نهایت با استفاده از مدل ارزش در معرض خطر و ارزش در معرض خطر شرطی آب و هوا ریسک عملکرد محاسبه می‌گردد. از این رو این بخش در سه قسمت الف) تولید سناریو اقلیمی، ب) شبیه‌سازی عملکرد و ج) اندازه‌گیری ریسک ارائه شده است.

الف) تولید سناریوهای اقلیمی: محققان معمولاً برای بررسی تغییر اقلیم از سناریوهای اقلیمی استفاده می‌کنند که با استفاده از سناریوهای انتشار و مدل‌های اقلیمی شکل می‌گیرد. سناریوهای اقلیمی برای پیش بینی وضعیت اقلیم در آینده از داده‌های سناریوهای انتشار استفاده می‌کنند و ابزار این پیش‌بینی مدل‌های اقلیمی هستند (۱۳). سناریو انتشار حاوی اطلاعاتی از وضعیت اقتصادی-اجتماعی و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر کره زمین است، در این سناریوها مقادیر گازهای گلخانه‌ای با نرخی ثابت تا سال ۲۱۰۰ افزایش می‌یابد. هر کدام از این سناریوها مربوط به یکی از خانواده‌های A1، B1، A2 و B2 می‌باشند (۳۸). در بین مدل‌های

1- AquaCrop

2- Abbreviation for Hadley Centre Coupled Model, Version 3

۳- سناریو انتشار A2 در برگیرنده‌ی توسعه اقتصادی منطقه محور، رشد جمعیت به صورت پیوسته و تقویت نیروهای جمعیتی منطقه‌ای با تأکید بر ارزش خانواده و رسوم خانوادگی می‌باشد.

اقلیمی مدل‌های گردش عمومی جو (GCM)[1] به نمایندگی از فرآیندهای فیزیکی در جو، اقیانوس، سطح یخبندان و زمین معتبرترین و پیشرفته‌ترین ابزار، برای شبیه‌سازی پاسخ سیستم جهانی آب و هوا به افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای می‌باشد. مدل مد نظر در این مطالعه HadCM3 تحت سناریو انتشار A2 می‌باشد. مدل HadCM3در مرکز تحقیقاتی هدلی برای پیش‌بینی و انجام پژوهش‌های آب و هوا (HCCPR)[2] در انگلیس اجرا می‌شود که به دلیل توانایی نسبتا بالا در اغلب مطالعات داخلی و خارجی به کار گرفته شده و دارای مزایایی از جمله قدرت تفکیک بالای مؤلفه‌ی اقیانوسی، هماهنگی خوب بین مؤلفه‌های جوی و اقیانوسی آن و عدم نیاز به تنظیمات شار سطحی برای بهبود شبیه‌سازی است (۱۷). سناریو انتشار A2 دربرگیرنده‌ی توسعه اقتصادی منطقه محور، رشد جمعیت به صورت پیوسته و تقویت نیروهای جمعیتی منطقه‌ای با تأکید بر ارزش خانواده و رسوم خانوادگی می‌باشد (۳۸).

ضعف عمده مدل‌های اقلیمی در قدرت تفکیک مکانی کم آنها است از این رو این مدل‌ها قابل استفاده در مطالعات کاربردی با ابعاد کوچکتر از خود نیستند، برای مثال اغلب مطالعات هیدرولوژیکی با فرآیندهای کوچک مقیاس سر و کار دارند که مقیاس آنها بسیار کوچکتر از مقیاسی است که مدل‌های گردش عمومی جو به ما می‌دهند. برای حل این مشکل از روش‌های ریز مقیاس نمایی استفاده می‌شود (۱۱). روش ریز مقیاس نمایی مد نظر در این مطالعه مدل lars-wg می‌باشد که از روش‌های ریزمقیاس نمایی آماری می‌باشد که جهت شبیه‌سازی حداقل و حداکثر دما ($°C$)، بارش (mm) و تشعشعات خورشیدی (MJ/m^2day) در یک مکان تحت شرایط اقلیم حال و آینده استفاده می‌شود.

مدل lars-wg براساس سری‌های مولد آب و هواست که از توزیعات نیمه تجربی (Semenov) برای سری‌های طول روز خشک و مرطوب، بارش روزانه و تابش خورشیدی روزانه استفاده می‌کند. توزیع نیمه تجربی یک هیستوگرام با ده بازه به صورت رابطه (۱) است:

$$EMP = \{a_0, a_i, h_i; i = 0,1,2,\ldots,10\} \qquad (۱)$$

$$[a_{i-1}, a_i) \qquad a_{i-1} \prec a_i \qquad (۲)$$

$[a_{i-1}, a_i)$ نشان‌دهنده بازه‌ها است و h_i نشان دهنده تعداد رخداد مورد نظر از داده‌های مشاهده شده در فاصله iام است. توزیع تجربی برای هر متغیر به ۲۱ پارامتر نیاز دارد ۱۱ پارامتر در مرزهای بازه‌ها و ۱۰ پارامتر که تعداد رخدادها را در هر بازه نشان می‌دهد.

1- General Circulation Models

2- Hadley Centre for Climate Prediction and Research

ارزش‌های تصادفی از توزیعات نیمه تجربی با انتخاب نخست یکی از فاصله‌ها و پس از آن انتخاب یک ارزش در بازه از توزیع یکنواخت بدست می‌آید و ازآن جایی که توزیع نیمه تجربی مورد نظر برای هر متغیر انعطاف‌پذیر است، می‌تواند طیف گسترده‌ای از اشکال را با تنظیم فواصل تقریب کند. این بازه‌ها براساس خواص مورد انتظار متغیرهای آب و هوا انتخاب می‌شوند (۳۷).

تولید داده از طریق مدل lars-wg در سه مرحله صورت می‌گیرد که شامل: کالیبره کردن داده‌ها، ارزیابی و تولید داده‌های هواشناسی برای دوره‌ی آتی می‌باشد. در مرحله کالیبره کردن مدل به فایلی نیاز دارد که مشخص کننده رفتار اقلیم در دوره گذشته است. این فایل شامل داده‌های روزانه دمای حداقل و حداکثر، بارش و تابش خورشیدی است که مدل براساس آنها برای دوره پایه اجرا می‌شود. در مرحله ارزیابی، داده‌های تولید شده مدل و داده‌های واقعی (مشاهده شده) موجود در دوره پایه با استفاده از روابط آماری ارزیابی می‌گردند به طوری که برای ارزیابی اختلاف میانگین ماهانه بین داده‌های واقعی و داده‌های تولید شده از «آزمون t [3]»، توزیع داده‌های تولید شده و توزیع واقعی متغیرها از آزمون «کولموگروف- اسمیرنف دو نمونه‌ای [4]» ($K-S$) و برای بررسی داده‌های تولید شده با داده‌های واقعی از آماره‌های «مجذور میانگین مربعات خطای استاندارد[5]» ($RMSE$)، «مجذور میانگین مربعات خطای استاندارد نرمال شده[6]» ($NRMSE$) و «ضریب همبستگی پیرسون[7]» (r) استفاده می‌شود. پس از قسمت ارزیابی در صورت اطمینان از نتایج اقدام به شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی برای دوره آتی می‌گردد. نیاز اساسی مدل در این مرحله داده‌های دوره پایه و خروجی یکی از مدل‌های گردش عمومی جو می‌باشد. در حقیقت مدل با استفاده از رفتار اقلیم در دوره پایه و ریز مقیاس نمایی آماری داده‌های یک مدل گردش عمومی جو، پارامترهای اقلیمی آینده را در حد مقیاس منطقه مورد مطالعه قرار می‌دهد (۱۷).

ب) شبیه‌سازی عملکرد: پس از شبیه‌سازی داده‌های آب و هوایی نیاز به مدلی داریم که با استفاده از اطلاعات آب و هوایی متغیر عملکرد را شبیه‌سازی نماید که برای این منظور از مدل آکواکراپ

3- T Test

4- Kolmogorov-Smirnov

5- Normalized Root-Mean-Square Error

6- Pearson Correlation Coefficient

۷- مدل lars-wg برای ایجاد داده‌های بارش، حداقل و حداکثر دما و تابش خورشیدی استفاده می‌شود، در صورتی که در فرآیند شبیه‌سازی عملکرد نیاز به محاسبه تبخیر- تعرق مرجع وجود دارد که علاوه بر متغیرهای ذکر شده به متغیرهای سرعت باد و رطوبت نسبی حداقل و حداکثر نیز نیاز است که برای ایجاد این متغیرها از مدل ClimGen استفاده می‌شود.

استفاده می‌شود. مدل آکواکراپ یکی از کاراترین و جدیدترین مدل‌های گیاهی است که توسط متخصصان برجسته نهادها و سازمان های دولتی از سراسر جهان از طرف سازمان جهانی کشاورزی و غذا مطرح شد. این مدل با توجه به مقدار آب مصرف شده توسط گیاه میزان عملکرد محصول را با یک گام روزانه برآورد می‌کند رابطه آن به صورت زیر است:

$$Y = HI\ Ks_1\ \ WP^* \sum (Tr/ET_0) \qquad (۳)$$

که در آن Y عملکرد محصول، HI شاخص برداشت[۱]، Ks_1 ضریب تنش دمایی (مقدار آن بین صفر و یک متغیر است که هر چقدر به یک نزدیکتر باشد اثر محدودکنندگی دما کمتر است)، WP^* پارامتر بهره‌وری آب (ماده خشک قسمت‌های هوایی گیاه (gr) را بیان می‌کند که در واحد سطح زمین (m^2) از هر واحد آب تعرق یافته (mm) تولید می‌شود که برای آب و هوا و گیاه معین ثابت در نظر گرفته می‌شود. پارامتر بهره‌وری آب از طریق غلظت دی اکسید کربن موجود در جو با ضرب کردن یک فاکتور تصحیح نرمال می‌شود به این صورت که اگر غلظت دی اکسید کربن بالای ۳۶۹/۴۱ ppm باشد فاکتور تصحیح بزرگتر از یک است و برای غلظت‌های پایین‌تر از آن کوچکتر از یک است) و Tr تعرق محصول می‌باشد که طبق رابطه (۴) بدست می‌آید:

$$Tr = Ks_2 (Kcb_x CC^*) ET_0 \qquad (۴)$$

Kcb_x ضریب تعرق گیاهی[۲] متناسب با پوشش کانوپی سبز (cc^*)[۳] می‌باشد که براساس پوشش گیاهی شبیه‌سازی شده در طول رشد گیاه تنظیم می‌شود، Ks_2 ضریب تنش آب[۴] (مقدار آن بین صفر و یک متغیر است که هر چقدر به یک نزدیکتر باشد اثر محدودکنندگی آب کمتر است) ET_0 تبخیر و تعرق مرجع[۵] که در مدل آکواکراپ از معادله فائو پنمن- مانتیث[۶] بدست می‌آید[۷] که اکثر متغیرهای آب و هوایی از طریق رابطه تبخیر و تعرق در عملکرد گیاه موثر هستند (۳۱).

ج) اندازه‌گیری ریسک: پس از شبیه‌سازی عملکرد نیاز به مدلی داریم که بتوان ریسک عملکرد را اندازه‌گیری نماید. روش ارزش در معرض خطر یکی از مهم‌ترین سنجه‌های ریسک نامطلوب است که در زمینه‌های مختلف مخصوصاً در مؤسسات مالی و صنعت بیمه به کار گرفته می‌شود امروزه با توجه به گستردگی و پیچیدگی کسب و کارها، ریسک‌هایی زیادی بنگاه‌ها را تهدید می‌کند که درک صحیح ریسک‌ها و مدیریت آنها می‌تواند تصمیم‌گیری را بهبود بخشیده و ارزش بنگاه‌ها را حفظ نماید. در کسب و کارهای کشاورزی یکی از مهم‌ترین ریسک‌هایی که بنگاه‌های تولیدی را تهدید می‌کند تغییرات آب و هوا است که در این زمینه نیز می‌توان رهیافت ارزش در معرض خطر آب و هوا را به کار برد. ارزش درمعرض خطر آب و هوا[۸] (W-VaR) نشان‌دهنده حداکثر خسارت مورد انتظار ناشی از شرایط نامساعد آب و هوایی در یک دوره زمانی و برای یک فاصله اطمینان معین است (۳۰). در علم آمار، ارزش در معرض خطر (VaR) چارک یک طرفه توزیع مشاهده شده در یک افق زمانی خاص می‌باشد، به طور کلی برای برآورد ارزش در معرض خطر به توزیع متغیر تصادفی مورد نظر و دو پارامتر سطح اطمینان و افق زمانی نیاز است، که در آن ارزش در معرض خطر میزان ریسک را در دوره مشخصی از آینده اندازه‌گیری می‌کند به گونه‌ای که می‌توان براساس آن سیاست‌های مناسبی را اتخاذ کرد. در واقع موضوع مهم این است که باید توزیع احتمال تجمعی مناسب را برای متغیر تصادفی مورد نظر بدست آورد که ممکن است توزیع نرمال نداشته و از توزیعات «دنباله‌ی پهن»[۹] و «کشیدگی بالا»[۱۰] تبعیت کند. اگر $\alpha \in (0,1)$ باشد، ارزش در معرض خطر در سطح احتمال α به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$P(E(X) - X \le VaR) \le \alpha \qquad (۵)$$

$$VaR = E(X) - F_X^{-1}(\alpha) \qquad (۶)$$

در رابطه بالا F^{-1} وارون تابع F و تابع کوانتیل و $E(X)$ ارزش متغیر تصادفی در میانگین شرایط آب و هوایی است (۳۹ و ۳۰).

ارزش در معرض خطر روش‌های گوناگونی برای اندازه‌گیری دارد که می‌توان در سه دسته زیر تقسیم‌بندی کرد: الف) روش‌های پارامتری که فرض خاصی را بر توزیع متغیر مورد نظر تحمیل می‌کنند. ب) روش‌های ناپارامتری هیچ فرضی را بر توزیع متغیر مورد نظر تحمیل نمی‌کنند و از آخرین توزیع تجربی متغیر بهره می‌گیرند و بر این فرض استوارند که آینده نزدیک تا اندازه زیادی به گذشته نزدیک شبیه است. ج) روش‌های شبه پارامتریک معمولاً ترکیبی از روش‌های پارامتریک و ناپارامتریک می‌باشند (۳۹ و ۲۱).

روش مد نظر مطالعه حاضر روش ناپارامتریک شبیه‌سازی مونت‌کارلو است به این دلیل که از توزیع تجربی متغیر عملکرد براساس تغییرات آب و هوا در دوره گذشته برای اندازه‌گیری ریسک

1- Harvest Index
2- Crop Transpiration Coefficient
3- Green Canopy Cover
4- Soil Water Stress Coefficient
5- Reference Crop Evapotranspiration
6- Penman-Monteith Equation
۷- برای اطلاعات بیشتر به نشریه فائو ۵۶ مراجعه شود.
8- Wheater Value at Risk
9- Fat Tails
10- Higher Kurtosis

استفاده می‌شود. مزیت عمده این روش آن است کـه هـیچ فرضـی را برای توزیع متغیر تحمیل نمی‌کند و اجازه مـی‌دهـد براسـاس داده‌هـا توزیع بدست آید اما قبل از آن باید شرایطی در نظر گرفته شود که به قرار زیر است:

برای ارزیابی ریسک آب و هوا برای هر شاخصـی در مرحلـه اول باید وابستگی بین شاخص مـورد بررسـی و ارتبـاط آن بـه آب و هـوا تعریف شود. از آن جایی که در VaR ریسک نـامطلوب انـدازه‌گیـری می‌شود میزان ریسک در شرایط نامطلوب آب و هوا که ناشی از تغییـر اقلیم برای دوره آینده است مد نظر قرار گرفته که ممکن اسـت بـرای هر شاخص دیگری شرایط نامطلوب به نحوی دیگر تعریف شود.

در این مطالعه ابتدا با استفاده از متغیرهـای آب و هـوایی در دوره پایه (۲۰۱۵-۱۹۸۶) ارتباط بین متغیرهای آب و هوایی و عملکرد گیاه از طریق مدل آکـواکراپ در نظـر گرفتـه مـی‌شـود. بـرای دوره آتـی (۲۰۴۵-۲۰۱۶) نیز داده‌های آب و هـوایی بـا اسـتفاده از سـناریوهای تغییر اقلیم حاصل از مـدل HadCM3 تحـت سـناریو انتشـار A2 در مدل ریز مقیاس نمایی lars-wg بدسـت مـی‌آیـد و در نهایـت ماننـد مرحله دوره پایه (۲۰۱۵-۱۹۸۶) با استفاده از مدل آکواکراپ عملکـرد گیاه با در نظر گرفتن اطلاعات واسنجی شده در دوره‌پایه شبیه‌سـازی می‌شود.

پس از تعیین وابستگی باید توزیع شاخص براساس وابسـتگی آن به آب و هوا که از مدل آکواکراپ بدست می‌آید تعیین شود. هر متغیر تصادفی دارای توزیع احتمالی است که با استفاده از داده‌های تـاریخی متغیر مورد نظر می‌توان نزدیکترین توزیع را با استفاده از آزمـون‌هـای آماری مربوطه انتخاب کرد. برای این منظور با اسـتفاده از آمـاره‌هـای «کی- دو[1]»، «کولموگروف- اسمیرنف[2]» و «اندرسـون- دارلینـگ[3]» اقدام به بررسی انطباق توزیع تجربی متغیـر عملکـرد بـر توزیـع‌هـای نظری مشهور مـی‌شـود تـا نزدیکتـرین توزیـع احتمـالاتی هریـک از متغیرها تعیین شود (۳۰).

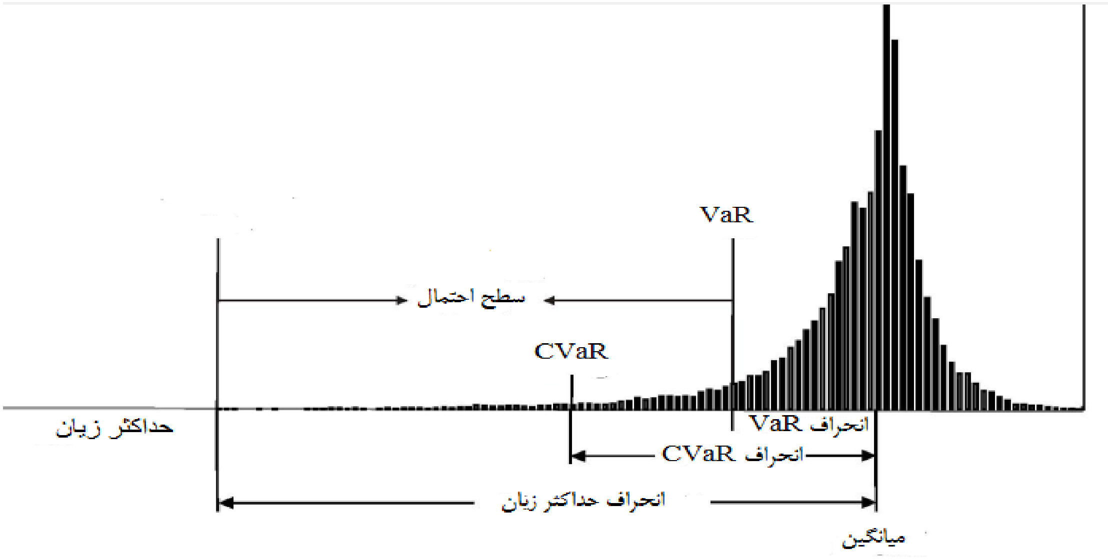
پس از تعیین توزیع با استفاده از روش شـبیه‌سـازی مونـت‌کـارلو اقدام به شبیه‌سازی ۱۰۰۰۰ مشاهده برای عملکرد می‌شـود تـا توزیـع مورد نظر بر مشاهدات شبیه‌سازی شده منطبـق گـردد. پـس از آن بـا محاسبه معکوس تابع توزیع مورد نظر در سطح احتمـال معـین مقـدار ارزش در معرض خطر بدست می‌آید.

شبیه‌سازی مونت‌کارلو: شبیه‌سازی مونت‌کـارلو یـک الگـوریتم محاسباتی است و در دسته‌ای از الگوریتم‌های محاسبه‌گر قرار دارد که برای محاسبه نتایج خود بر نمونه‌گیری تکـرار شـونده تصـادفی اتکـا می‌کند: به دلیـل اتکـای ایـن روش بـر محاسـبات تکـراری و اعـداد تصادفی، روش مونت‌کارلو اغلب به گونه‌ای تنظیم می‌شود که توسـط رایانه و بر پایه توزیع احتمالی، اجرا می‌شـود. بـا اسـتفاده از توزیعـات احتمالاتی، متغیرها می‌توانند احتمالات مختلفی از نتایج مختلفـی کـه رخ می‌دهد را داشته باشـند. در طـی یـک شـبیه‌سـازی مونـت‌کـارلو ارزش‌های تصادفی از توزیع احتمالاتی متغیر تصادفی با یک پروسه‌ای که فرآیند نمونه‌گیری نامیده می‌شود بدست مـی‌آینـد، هـر مجموعـه نمونه‌گیری شده یک تکرار نامیده مـی‌شـود و خروجـی حاصـل از آن نمونه ثبت می‌شود که این کار صدها و هزاران بار تکـرار مـی‌شـود و نتیجه یک توزیع احتمالاتی از خروجی‌های ممکن است به طوری که نمونه‌های ثبت شده با توزیع احتمالاتی متغیر تصادفی (توزیع ورودی) به طور کامل انطباق یابند. از این رو توزیعـات احتمـالاتی یـک روش واقعی‌تری از توصیف نااطمینانی در متغیرهای تجزیه و تحلیل ریسک هستند (۱۸). عامل مهم دیگر در شبیه‌سازی مونت‌کـارلو روش نمونـه گیری است. هر تکنیکی که به تکـرار و مـدت زمـان بیشـتری بـرای انطباق به توزیع ورودی نیاز داشته باشد کـارایی کمتـری دارد کـه در این مطالعه از تکنیک نمونه‌گیری مکعب لاتین[4] استفاده شـده اسـت. تکنیک مکعب لاتین نمونه‌های طراحی شده را به مطابقت نزدیک‌تـر با توزیع ورودی مجبور می‌کند و در نتیجه برآوردهای آمـاری سـریعتر (با تکرار کمتر از نمونه‌گیری مونت‌کارلو) به توزیع مـورد نظـر همگـرا می‌شود. نکته مهم در نمونه‌گیری مکعـب لاتـین طبقـه‌بنـدی توزیـع احتمالاتی است که در آن منحنی تجمعی توزیـع در فواصـل برابـر در مقیاس احتمال تجمعی (۰ تا یـک) بـه تعـداد تکرارهـا تقسـیم‌بنـدی می‌شود سپس یک نمونه بدون جایگزینی به صـورت تصـادفی از هـر فاصله یا طبقه توزیع مورد نظر انتخاب می‌شود. ایـن روش بـه دلیـل اجرای سریع‌تر (با توجه به تکرار کمتر) و نمونه‌گیـری از هـر قسـمت کاراتر از روش نمونه‌گیری مونت‌کارلو است (۲۶).

ارزش در معرض خطر بـا وجـود مقبـولیتی کـه در میـان فعـالان ریسک پیدا کرده دارای معایبی است که مهم‌ترین آنها به صورت زیـر است: ۱- به دلیل عدم برخورداری از ویژگـی انسـجام[5]، یـک سـنجه تمام عیار نیست ۲- با یک سـطح احتمـال مشـخص فقـط در مـورد بیشترین زیان ممکن بحث می‌کند و زیان‌های بالاتر از خود را نشـان نمی‌دهد (۳۲).

1- Chi-Squared Test
2- Kolmogorov-Smirnov
3- Anderson-Darling

4- Latin Hypercube Sampling
۵- $R \rightarrow \rho : v$، معیاری منسجم است، کـه ۴ ویژگـی زیـر را داشـته باشـد: ۱) یکنواختی $x \in v, x \geq 0 \Rightarrow \rho(x) \leq 0$ ۲) جمع‌پذیری $x, y, x+y \in v \Rightarrow \rho(x+y) \leq \rho(x)+\rho(y)$ ۳) همگنی مثبت $x \in v, h \succ 0, hx \in v \Rightarrow \rho(hx) = h\rho(x)$ ۴) انتقـال یکسـان $x \in v, a \in R \Rightarrow \rho(x+a) = \rho(x) - a$



شکل ۱- ارزش در معرض خطر و ریزش مورد انتظار با فرض نرمال بودن توزیع
Figure 1- Value at risk and Expected Shortfall under normal distribution assumption
مأخذ: منبع (۳۳)
Source: Source (33)

بر این اساس می‌توان از مدل ارزش در معرض خطر شرطی (CVaR)[1] یا ریزش مورد انتظار (ES)[2] به عنوان میانگینی از زیان‌های محتمل استفاده کرد. این روش به خاطر اینکه می‌تواند دنباله پهن بودن توزیع را در نظر بگیرد نسبت به VaR معیار بهتری برای ریسک است که در رابطه (۷) نشان داده شده است[3].

$$CVaR^{\Delta}{}_{\alpha} = E(x) - \frac{1}{\alpha}\int_0^{\alpha} F^{-1}(X)\, dx \qquad (۷)$$

در روابط بالا F^{-1} معکوس تابع F، $E(X)$ ارزش متغیر تصادفی در میانگین شرایط آب و هوایی و α سطح احتمال می‌باشد.

در شکل (۱) VaR و CVaR با فرض نرمال بودن توزیع متغیر تصادفی در هر دو حالت نشان داده شده است. همانطور که شکل نشان می‌دهد قسمت زیان در سمت چپ توزیع مورد نظر است.

آمار و اطلاعات مورد نیاز این مطالعه مربوط به متغیرهای هواشناسی (بارش، دمای حداقل و حداکثر، تابش خورشیدی، رطوبت نسبی حداقل و حداکثر و سرعت باد) و بصورت روزانه می‌باشد که در دوره ۲۰۱۵-۱۹۸۶ توسط اداره کل هواشناسی استان آذربایجان شرقی (۹) گردآوری شده است. همچنین اطلاعات مربوط به عملکرد گندم دیم از دوره ۹۴-۱۳۷۰ از مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان اهر (۱۴) بدست آمد.

نتایج و بحث

نتایج مطالعه نیز مانند روش تحقیق در سه بخش الف) تولید سناریو اقلیمی، ب) شبیه‌سازی عملکرد و ج) اندازه‌گیری ریسک ارائه شده است.

الف) تولید سناریو اقلیمی: همان‌طور که گفته شد از مدل lars-wg برای تولید اطلاعات روزانه دمای حداقل و حداکثر، بارش و تابش خورشیدی استفاده می‌شود که برای این منظور نرم‌افزار lars-wg 5.5 به کار گرفته شد. آزمون‌های آماری به کار گرفته شده برای مقایسه توزیعات احتمالاتی و ارزیابی قابلیت مدل شامل آزمون «t»، آزمون «کولموگروف- اسمیرنف دو نمونه‌ای» $(K-S)$ «مجذور میانگین مربعات خطای استاندارد» ($RMSE$)، «مجذور میانگین مربعات خطای استاندارد نرمال شده» ($NRMSE$) و «ضریب همبستگی» (r) می‌باشد که نتایج حاصل از آنها در جداول (۱) و (۲) ارائه شده است. نتایج برای متغیر بارش به صورت تجمعی ماهانه و برای سایر متغیرها به صورت متوسط ماهانه گزارش شده است.

1- Conditional Value at Risk
2- Expected Shortfall
۳- در هر دو روش VaR و CVaR انحراف از حالت میانگین به عنوان معیار ریسک به دلیل محاسبه اختلاف عملکرد در شرایط نامساعد آب و هوایی از عملکرد در شرایط میانگین آب و هوایی محاسبه شده است.

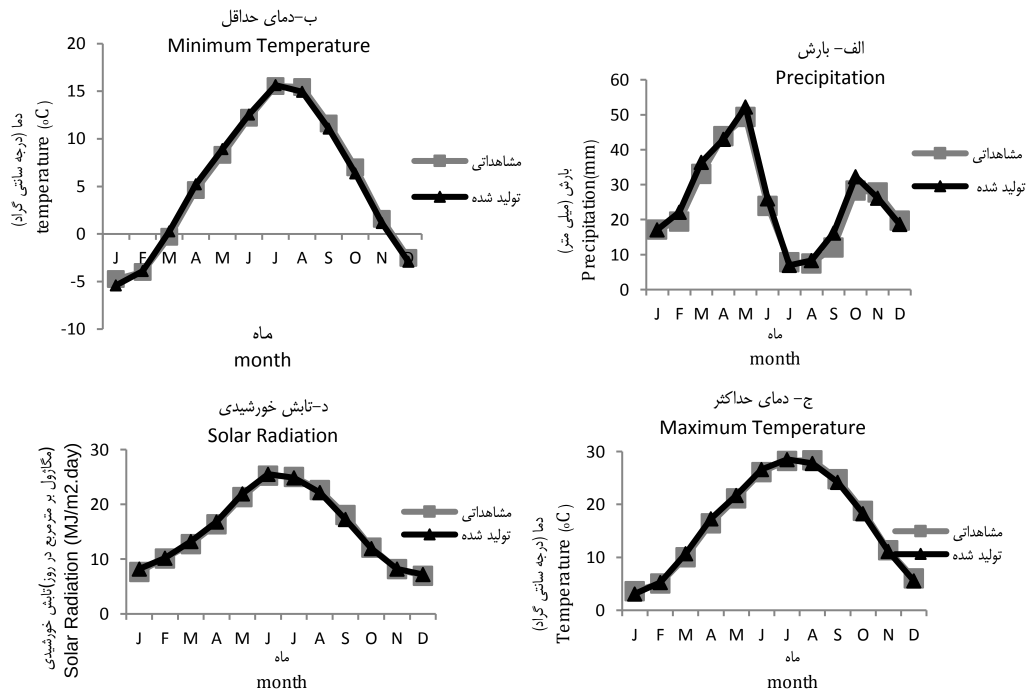
جدول ۱- نتایج آزمون کلموگروف اسمیرنف (K-S) و (t) برای متغیرهای بارش، دمای حداقل و حداکثر و تابش خورشیدی ماهانه مشاهداتی و تولید شده در سال‌های ۲۰۱۵-۱۹۸۶ در ایستگاه اهر

Table 1- The results of the Kolmogorov-Smirnov and t test for monthly observed and generated variables of precipitation, minimum and maximum temperatures, and solar radiation in Ahar station

متغیر Variable	آماره Statistic	ماه Month											
		ژانویه Jan	فوریه Feb	مارس Mar	آوریل Apr	می May	ژوئن Jun	جولای Jul	آگوست Aug	سپتامبر Sep	اکتبر Oct	نوامبر Nov	دسامبر Dec
بارش Precipitation	k-s	0.052	0.03	0.06	0.1	0.064	0.087	0.145	0.109	0.194	0.03	0.056	0.064
	p-value	1	1	1	0.999	1	1	0.954	0.998	0.732	1	1	1
	t	-0.02	0.73	0.66	-0.21	0.35	0.42	-0.30	0.35	0.97	0.74	-0.32	-0.23
	p-value	0.98	0.46	0.51	0.83	0.72	0.67	0.76	0.72	0.33	0.46	0.74	0.81
دمای حداقل Minimum temperature	k-s	0.158	0.158	0.106	0.053	0.105	0.105	0.106	0.106	0.053	0.106	0.106	0.106
	p-value	0.912	0.912	0.998	1	0.999	0.999	0.998	0.998	1	0.998	0.998	0.998
	t	1.24	-0.19	-1.55	-1.23	0.11	0.64	-0.46	0.88	-0.065	1.12	1.25	0.91
	p-value	0.22	0.84	0.13	0.22	0.91	0.52	0.64	0.38	0.94	0.26	0.22	0.36
دمای حداکثر Maximum temperature	k-s	0.158	0.158	0.106	0.053	0.106	0.106	0.106	0.158	0.106	0.106	0.053	0.106
	p-value	0.912	0.912	0.998	1	0.998	0.998	0.998	0.912	0.998	0.998	1	0.998
	t	0.95	-0.28	-1.27	-0.93	-1.62	-1.22	-0.9	1.5	1.65	1.14	0.5	0.88
	p-value	0.34	0.77	0.21	0.35	0.11	0.23	0.37	0.14	0.10	0.26	0.61	0.38
تابش خورشیدی Solar radiation	k-s	0.044	0.087	0.044	0.087	0.044	0.044	0.131	0.087	0.044	0.044	0.044	0.087
	p-value	1	1	1	1	1	1	0.982	1	1	1	1	1
	t	-0.57	-0.10	-0.93	0.41	-0.79	-0.40	0.85	-0.87	-0.75	-1.82	-1.81	-1.34
	p-value	0.56	0.91	0.35	0.67	0.42	0.68	0.39	0.38	0.45	0.07	0.07	0.18

مأخذ: یافته‌های تحقیق

Source: Research findings



شکل ۲- میانگین ماهانه بارش تجمعی، دمای حداقل و حداکثر و تابش خورشیدی مشاهداتی و تولید شده برای دوره ۲۰۱۵-۱۹۸۶ ایستگاه اهر

Figure 2- The observed and generated monthly mean cumulative precipitation, maximum and minimum temperature for 1986 to 2015 at Ahar station

مأخذ: یافته‌های تحقیق

Source: Research findings

جدول ۱ نشان می‌دهد که براساس مقادیر آماره «t» و آزمون کلموگروف اسمیرنف و سطح معنی داری که براساس متوسط سال‌های ۲۰۱۵-۱۹۸۶ برای هر ماه بدست آمده در هیچ یک از ماه‌ها اختلاف معنی‌داری (در سطح احتمال ۵ درصد) در مورد میانگین و توزیع مشاهداتی و تولید شده متغیرهای بارش، دمای حداقل و حداکثر و تابش خورشیدی وجود ندارد، که این موضوع در شکل ۲ به وضوح قابل مشاهده است.

جدول ۲- مقدار ضریب همبستگی، آماره RMSE و NRMSE را براساس متوسط اطلاعات ماهانه در دوره سی ساله (۳۶۰ مشاهده) نشان می‌دهد فقط در مورد متغیر بارش ضریب همبستگی برای ۱۲ مشاهده که از میانگین اطلاعات ماهانه در دوره ۳۰ ساله محاسبه شده است، بدست می‌آید. دلیل این امر عدم وجود توزیع نرمال برای بارش است به طوری که مقدار متوسط بارش در یک ماه ممکن است در طی سال‌های مختلف متفاوت باشد. مقادیر آماره RMSE برای هر سه متغیر بیانگر وجود اختلاف کمتر در تولید داده توسط مدل است. مقدار خطای نرمال‌شده مدل برای متغیر بارش در محدوده ۱۰-۰ و دمای حداقل و حداکثر در محدوده ۲۰-۱۰ قرار دارد که نشان‌دهنده به ترتیب کارآیی عالی و خوب مدل است. همچنین مقادیر ضریب همبستگی نشان دهنده ارتباط قوی بین مقادیر تولیداتی و مقادیر مشاهداتی در متغیرهای بارش، دمای حداکثر و دمای حداقل است. لازم به ذکر است که چون در این مطالعه اطلاعات تابش خورشیدی در دسترس نیست و از اطلاعات ساعات آفتابی برای شبیه‌سازی تابش خورشیدی استفاده شده است، بر این اساس نمی‌توان ضریب همبستگی و آماره‌های RMSE و NRMSE را برای تابش خورشیدی محاسبه کرد.

جدول ۲- ارزیابی مدل lars-wg با استفاده از ضریب همبستگی و آماره‌های RMSE و NRMSE

Table 2- The evaluation of lars-wg model using correlation coefficient and RMSE and NRMSE criteria

آماره Statistic	متغیرهای آب و هوایی Climate variables		
	بارش Precipitation	دمای حداقل Minimum temperature	دمای حداکثر Maximum temperature
RMSE	0.84	1.01	2.54
NRMSE	3.47	18.70	15.24
r	0.98	0.97	0.96

مأخذ: یافته‌های تحقیق

Source: Research findings

براساس نتایج حاصله از آزمون‌های مربوطه (جدول ۱ و ۲) مدل با دقت بالایی قادر به شبیه‌سازی متغیرهای بارش، دمای حداکثر، دمای حداقل و تابش خورشیدی می‌باشد از این رو می‌توان از این مدل برای پیش‌بینی متغیرهای آب و هوایی برای دوره آتی استفاده کرد. در گام بعدی از مدل lars-wg برای پیش‌بینی متغیرهای مربوطه برای دوره ۲۰۴۵-۲۰۱۶ با در نظر گرفتن سناریو اقلیمی HadCM3 تحت سناریو انتشار A2 استفاده گردید. برای این منظور از داده‌های آب و هوایی بدست آمده برای هر دوره تبخیر-تعرق و نیز از نرم افزار ET0 Calculator3.2 بهره گرفته شد. نتایج حاصل، مقایسه داده‌های مشاهداتی دوره پایه و آتی در جدول ۳ براساس متوسط سالانه هر ماه نشان داده شده است.

یافته‌های پژوهش بیانگر آن است که متغیرهای آب و هوایی حاصل از مدل HadCM3 تحت سناریو انتشار A2 در دوره ۲۰۴۵-۲۰۱۶ در مقایسه با دوره ۲۰۱۵-۱۹۸۶ افزایشی است، به طوری که میانگین ماهانه دمای حداقل و حداکثر به ترتیب ۰/۵۶ و ۰/۶۳ درجه سانتی‌گراد، بارش تجمعی ۹/۱۵ میلی‌متر، تابش خورشیدی ۰/۰۶ مگاژول بر متر مربع در روز و تبخیر و تعرق مرجع ۱۸/۴۸ میلی‌متر در سال افزایش می‌یابد. نتایج حاصل با مطالعات خلیلی اقدم و همکاران (۱۶)، سیاری و همکاران (۳۶) و آبابایی و همکاران (۱) مطابقت دارد. روند افزایش بارش متغیر بوده و بیشتر در فصل زمستان و بهار روند افزایشی دارد که همزمان با اواخر فصل رشد گندم می‌باشد. بیشترین میزان افزایش بارش معادل ۳/۹۳ میلی‌متر در ماه اکتبر رخ داده که معادل با ماه‌های مهر و آبان زمان کاشت گندم می‌باشد. دماهای حداقل و حداکثر در بیشتر ماه‌های سال افزایشی است و در ماه‌هایی که کاهش دما رخ داده مقدار تغییر بسیار ناچیز می‌باشد (کاهش دمای حداکثر فقط در ماه دسامبر و در مورد دمای حداقل ماه‌های ژانویه، اکتبر و نوامبر می‌باشد). بیشترین کاهش دما مربوط به دمای حداقل در ماه ژانویه به میزان ۰/۱۴ درجه سانتی‌گراد می‌باشد و بیشترین افزایش را در فصل بهار و تابستان زمان بلوغ و برداشت گندم تجربه می‌کند. تنش حرارتی پس از گرده‌افشانی در محدوده دمای ۲۵ تا ۳۱ درجه به طور معنی داری موجب کاهش عملکرد می‌گردد، اما در شهرستان اهر افزایش دما تا ۳۱ درجه سانتی‌گراد به ندرت رخ می‌دهد بنابراین افزایش دما موجب تنش حرارتی در گندم شهرستان اهر نخواهد شد. تابش خورشیدی بیشترین افزایش را در فصل بهار در ماه

می که معادل با ماه‌های اردیبهشت و خرداد می‌باشد تجربه می‌کند که این نیز برای رشد گیاه یک مزیت به حساب می‌آید به این دلیل که تولید ماده خشک غلات ارتباط مشخصی با میزان تشعشع خورشیدی جذب شده دارد و میزان جذب تشعشع خورشیدی ارتباط مستقیم با میزان سطح برگ مزرعه دارد. اگر گیاه رشد پاییزه خوبی را گذرانده باشد و به اندازه‌ی مناسبی از رشد پوشش گیاهی برسد در رشد بهاره می‌تواند تشعشع خورشیدی زیادی را جذب کند و به عملکرد خوبی دست یابد. بیشتر تغییرات تبخیر و تعرق در ماه‌های گرم سال (فصل بهار و تابستان) رخ داده که با نتایج حاصل از تغییر دما هم‌خوانی دارد. طبق رابطه (۳) تبخیر- تعرق با عملکرد محصول رابطه معکوس دارد یعنی با افزایش آن عملکرد روند نزولی خواهد داشت. بیشترین میزان تغییرات تبخیر در ماه ژوئن (خرداد و تیر) زمان برداشت محصول رخ داده است و کمترین میزان تبخیر-تعرق در فصل پاییز (ماه‌های نوامبر و دسامبر) است که سبب می‌شود محدودیت محصول از نظر دسترسی به مقدار آب ناشی از بارندگی کاهش یابد. به طور کلی میزان افزایش دمای حداکثر، دمای حداقل، بارش، تابش خورشیدی و تبخیر و تعرق مرجع به ترتیب ۳/۷۸، ۱۰/۴۷، ۳/۱۵، ۰/۴۱ و ۱/۴۷ درصد متوسط دوره ۲۰۱۵-۱۹۸۶ می‌باشد.

ب) شبیه‌سازی عملکرد: پس از واسنجی عملکرد برای دوره پایه، عملکرد با استفاده از داده‌های روزانه متغیرهای آب و هوایی برای دوره پایه و آتی شبیه‌سازی شد. برای دوره پایه متوسط عملکرد ۰/۹۴۰ تن بدست آمد در صورتی‌که متوسط عملکرد واقعی ۰/۹۵۴ تن می‌باشد. دلیل این تفاوت آن است که آکواکراپ عملکرد را با توجه به اطلاعات آب و هوایی شبیه‌سازی می‌کند و شامل مشکلاتی از قبیل آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز نمی‌شود. این در صورتی است که زنگ گندم یکی از مشکلات تولید گندم منطقه اهر می‌باشد. برای دوره آتی نیز عملکرد ۰/۹۹۹ تن بدست آمد که دارای روند افزایشی است. دلیل این امر افزایش غلظت کربن دی‌اکسید و بارش برای دوره آتی می‌باشد. با توجه به اینکه روند بارش تحت سناریو A2 برای منطقه اهر افزایشی است و گیاهان دیم بیشترین وابستگی را به میزان بارش دارند افزایش عملکرد تحت این شرایط در نتیجه تغییر اقلیم امری طبیعی است. البته علاوه بر بارش افزایش غلظت کربن دی اکسید با افزایش عمل فتوسنتز به رشد گندم که در واقع جزو گیاهان C_3 است کمک می‌کند که این به عوامل دیگری همچون مقدار آب و نیتروژن بستگی دارد.

ج) اندازه‌گیری ریسک: پس از شبیه‌سازی عملکرد برای دوره پایه و آتی ریسک عملکرد محاسبه گردید. بدین منظور ابتدا توزیع عملکرد بدست آمد سپس با استفاده از ۱۰۰۰۰ داده شبیه‌سازی شده به روش مونت‌کارلو مقدار ریسک با استفاده از روش‌های ارزش در معرض خطر و ارزش در معرض خطر شرطی بدست آمد.

برای بدست آوردن توزیع عملکرد از داده‌های شبیه‌سازی شده برای دوره پایه و آتی استفاده شده است. دلیل این امر در نظر گرفتن عملکرد فقط براساس ریسک آب و هوایی است که شامل سایر ریسک آفات و بیماری‌ها نمی‌باشد. بدین منظور با استفاده از آماره‌های «کی- دو»، «کولموگروف- اسمیرنف» و «اندرسون-دارلینگ» اقدام به بررسی انطباق توزیع عملکرد با توزیعات نظری مشهور شد برای این کار نرم‌افزار Easy Fit 5.5 استفاده شد. دو نمونه از نزدیکترین توزیعات برای عملکرد توزیع بتا[1] و ویکبای[2] بدست آمد نتایج حاصل از آزمون‌های مذکور در سطح احتمال ۵ درصد در جدول ۴ نشان داده شده است.

نتایج حاصل از مقایسه مقادیر محاسباتی و بحرانی آماره‌های مذکور نشان می‌دهد که براساس هر یک از آزمون‌ها فرض صفر مبنی بر هم‌ارز بودن توزیع مشاهداتی با یکی از توزیعات نظری مشهور که در اینجا توزیع بتا و ویکبای در نظر گرفته شده، رد نشده است یعنی توزیع بتا و ویکبای توزیعات مناسبی برای عملکرد می‌باشند. مطالعات نظیر بوکوشوا[3] (۴)گودوین[4] (۱۰)، و پیش‌بهار و همکاران (۲۸) ویکبای را توزیع مناسبی برای عملکرد معرفی کرده‌اند در حالیکه نلسون[5] (۲۵) و چن و میراندا[6] (۶) در تحقیقات خود برای عملکرد از توزیع بتا استفاده کرده‌اند.

پس از تعیین توزیع ۱۰۰۰۰ مشاهده برای هر یک از عملکردهای دو دوره پایه و آتی با استفاده از توزیعات بتا و ویکبای شبیه‌سازی شد و ارزش در معرض خطر و ارزش در معرض خطر شرطی به صورت انحراف آن از میانگین با استفاده از نرم‌افزار Risk7@ محاسبه شد که نتایج حاصل در سه سطح احتمال ۱، ۵ و ۱۰ درصد در جدول ۵ نشان داده شده است.

۱- متغیر تصادفی X دارای توزیع بتا با پارامترهای μ و λ است، اگر تابع چگالی احتمال آن به صورت $\frac{x^{(\mu-1)}(1-x)^{\lambda-1}}{B(\mu,\lambda)}$ باشد. در حالی که

$$B(\alpha,\beta)=\frac{\Gamma(\mu)\Gamma(\lambda)}{\Gamma(\mu+\lambda)}$$

۲- متغیر تصادفی X دارای توزیع ویکبای با پارامترهای α، β، γ، δ و ξ است، اگر تابع چگالی احتمال آن به صورت $\xi+\frac{\alpha}{\beta}(1-(1-x)^{\beta})-\frac{\gamma}{\delta}(1-(1-x)^{-\delta})$ باشد.

3- Bokusheva
4- Goodwin
5- Nelson
6- Chen and Miranda

جدول ۳- میزان و روند تغییرات میانگین ماهانه بارش، دمای حداقل و حداکثر، تابش خورشیدی و تبخیر و تعرق پیش‌بینی شده برای دوره آتی (۲۰۴۵-۲۰۱٦) در مقایسه با دوره پایه (۲۰۱۵-۱۹۸٦)

Table 3- Trend and average of the monthly variation predicted precipitation, minimum and maximum temperature, solar radiation and evapotranspiration for the future period (2016-2045) compared to the basic period (2011-2015)

متغیر Variable		ژانویه Jan	فوریه Feb	مارس Mar	آوریل Apr	می May	ژوئن Jun	جولای Jul	آگوست Aug	سپتامبر Sep	اکتبر Oct	نوامبر Nov	دسامبر Dec	تغییرات کل Total variation
		ماه Month												
بارش precipitation	میزان تغییرات Variation amount	0.12	2.99	3.72	-1.57	0.26	0.16	-1.75	-0.49	2.46	3.93	-0.37	-0.33	9.15
	روند تغییرات Variation trend	افزایشی Increasing	افزایشی Increasing	افزایشی Increasing	کاهشی Decreasing	افزایشی Increasing	افزایشی Increasing	کاهشی Decreasing	کاهشی Decreasing	افزایشی Increasing	افزایشی Increasing	کاهشی Decreasing	کاهشی Decreasing	افزایشی increased
دمای حداقل Minimum temperature	میزان تغییرات Variation amount	-0.14	0.76	1.17	1.10	1.19	1.16	0.97	0.33	0.22	-0.04	-0.01	0.01	0.56
	روند تغییرات Variation trend	کاهشی Decreasing	افزایشی Increasing	افزایشی Increasing	افزایشی Increasing	افزایشی Increasing	افزایشی Increasing	افزایشی Increasing	افزایشی Increasing	افزایشی Increasing	کاهشی Decreasing	کاهشی Decreasing	افزایشی Increasing	افزایشی increased
دمای حداکثر Maximum temperature	میزان تغییرات Variation amount	0	0.82	1.26	1.33	1.13	1.30	1.18	0.26	0.13	0.03	0.16	-0.08	0.63
	روند تغییرات Variation trend	ثابت Constant	افزایشی Increasing	افزایشی Increasing	افزایشی Increasing	افزایشی Increasing	افزایشی Increasing	افزایشی Increasing	افزایشی Increasing	افزایشی Increasing	افزایشی Increasing	افزایشی Increasing	کاهشی Decreasing	افزایشی increased
تابش خورشیدی Solar radiation	میزان تغییرات Variation amount	0.43	-0.03	0.28	0.42	0.8	0.46	-0.07	-0.3	-0.81	-0.36	-0.14	0.11	0.06
	روند تغییرات Variation trend	افزایشی Increasing	کاهشی Decreasing	افزایشی Increasing	افزایشی Increasing	افزایشی Increasing	افزایشی Increasing	کاهشی Decreasing	کاهشی Decreasing	کاهشی Decreasing	کاهشی Decreasing	کاهشی Decreasing	افزایشی Increasing	افزایشی increased
تبخیر و تعرق Evapotranspiration	میزان تغییرات Variation amount	0.27	0.44	0.35	1.27	3.41	4.14	3.85	3.36	1.87	0.05	-0.44	-0.12	18.48
	روند تغییرات Variation trend	افزایشی Increasing	افزایشی Increasing	افزایشی Increasing	افزایشی Increasing	افزایشی Increasing	افزایشی Increasing	افزایشی Increasing	افزایشی Increasing	افزایشی Increasing	افزایشی Increasing	کاهشی Decreasing	کاهشی Decreasing	افزایشی increased

مأخذ: یافته‌های تحقیق

Source: Research findings

طبق جدول ۵ مقدار ریسک در هر دو مورد VaR و CVaR در سطوح احتمالاتی مختلف کاهش می‌یابد که این مسئله طبیعی است چون هر چه سطوح احتمالاتی افزایش می‌یابد کوانتیل تابع به سمت میانگین توزیع حرکت می‌کند و اختلاف آن از میانگین کمتر می‌شود. مقادیر CVaR از VaR در سطوح احتمالاتی خاص بیشتر است چون CVaR میانگینی از زیانهای محتمل است در صورتی که VaR بیشترین زیان ممکن را در نظر می‌گیرد که سبب می‌شود حالت انحراف ازمیانگین CVaR بیشتر شود. در مقایسه دوره‌های آتی و پایه زمانی در سطوح احتمالاتی خاص مقادیر سنجه‌های مورد نظر در دوره آتی کمتر از دوره پایه است به این دلیل که میزان عملکرد در دوره آتی نسبت به دوره پایه افزایش یافته است. در واقع زمانی که ارزش در معرض خطر آب و هوا براساس مطالعه پریتین سلیر و همکاران[1] (۳۰) حالت انحراف از میانگین ارزش در معرض خطر در نظر گرفته شود، در دوره آتی در مقایسه با دوره پایه ریسک عملکرد ناشی از آب و هوا کاهش می‌یابد. این موضوع از تغییر متغیرهای بارش، دمای حداقل و حداکثر، تبخیر-تعرق و غلظت دی اکسیدکربن ناشی می‌شود. در مورد توزیع بتا مقادیر تغییر در سطوح احتمالاتی ۱، ۵ و ۱۰ به ترتیب برابر ۰/۱۳۹، ۰/۸۳ و ۰/۶۱ تن در هکتار (که معادل۱۴/۵۷، ۸/۷ و ۶/۳۹ درصد متوسط عملکرد واقعی در دوره پایه است) می‌باشد، این در صورتی است که برای توزیع ویکبای کاهش ریسک در دوره آتی معادل ۰/۲۹۷، ۰/۸۱ و ۰/۳۱ تن در هکتار (که برابر با ۳۱/۱۳، ۸/۴۹ و ۳/۲۴ درصد متوسط عملکرد واقعی در دوره پایه است) است. در توزیع بتا کاهش می‌یابد. براساس سنجه ارزش در معرض خطر شرطی نیز مقدار کاهش ریسک در دوره آتی برای توزیع بتا در سطوح احتمالاتی ۱، ۵ و ۱۰ درصد به ترتیب برابر ۰/۱۵۸، ۰/۱۱۵ و ۰/۹۳ تن در هکتار (معادل ۱۶/۵۶، ۱۲/۰۵ و ۹/۷۴ درصد متوسط عملکرد واقعی در دوره پایه) بوده و این ارقام برای توزیع ویکبای معادل ۰/۴۰۳، ۰/۱۴۸ و ۰/۷۷ (معادل ۴۲/۲۴، ۱۵/۵۱ و ۸/۰۷ درصد عملکرد واقعی است) می‌باشد. نتایج حاکی از آن است که میزان ریسک بدست آمده وابسته به توزیع احتمالاتی مورد نظر برای عملکرد است که می‌تواند براساس توزیع در نظر گرفته شده ارقام متفاوتی را شامل شود.

1- Prettenthaler

جدول ٤- بررسی انطباق توزیعات نظری با توزیع تجربی عملکرد برای دو دوره پایه و آتی

Table (4) Investigation of goodness of theoretical distributions fit to yield empirical distribution for basic and future periods

توزیع Distribution	آزمون Test		توزیع عملکرد در دوره پایه Yield distribution for basic period	توزیع عملکرد در دوره آتی Yield distribution for future period
بتا Beta	کی-دو Chi-Squared	آماره Statistic	0.91	0.35
		p-value	0.63	0.94
		مقدار بحرانی ($\alpha = 0.05$)	5.99	7.81
	کولموگروف-اسمیرنف Kolmogorov-Smirnov	آماره Statistic	0.14	0.09
		p-value	0.55	0.92
		مقدار بحرانی ($\alpha = 0.05$) Critical ($\alpha = 0.05$) value	0.24	0.24
	اندرسون-دارلینگ Anderson-Darling	آماره Statistic	0.65	0.41
		p-value	–	–
		مقدار بحرانی ($\alpha = 0.05$) Critical ($\alpha = 0.05$) value	2.5	2.5
ویکبای Wakeby	کی-دو Chi-Squared	آماره Statistic	1.36	0.55
		p-value	0.71	0.90
		مقدار بحرانی ($\alpha = 0.05$) Critical ($\alpha = 0.05$) value	7.81	7.81
	کولموگروف-اسمیرنف Kolmogorov-Smirnov	آماره Statistic	0.072	0.062
		p-value	0.99	0.99
		مقدار بحرانی ($\alpha = 0.05$) Critical value($\alpha = 0.05$)	0.24	0.24
	اندرسون-دارلینگ Anderson-Darling	آماره Statistic	0.17	0.13
		p-value	–	–
		مقدار بحرانی ($\alpha = 0.05$) Critical ($\alpha = 0.05$) value	2.5	2.5

مأخذ: یافته‌های تحقیق

Source: Research findings

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

هر یک از متغیرهای آب و هوایی مد نظر در این مطالعه تأثیر بـه سزایی در عملکرد دارند که جهت و میزان تاثیرگـذاری آنهـا متفـاوت است به طوری که در این مطالعـه رونـد بـارش و دماهـای حـداقل و حداکثر تابش خورشیدی و تبخیر و تعـرق افزایشـی بدسـت آمـد کـه براساس ماه‌های مختلفت میزان و جهت تأثیرگذاری آن متفاوت است. بیشترین میزان تغییر بارش در ماه مهر وآبان همزمان با فصل کاشـت

گندم صورت گرفت. بارندگی‌های پاییزه بیشترین تأثیر را روی عملکرد دانه گندم دیم دارند زیرا قوی‌ترین ارتباط عملکرد دانه گندم با بارندگی‌های ماه مهر و آبان است که مرحله جوانه‌زنی را شامل می‌شود، هر چقدر میزان بارش بیشتر باشد بذر زودتر جوانه می‌زند و باعث می‌شود محصول مراحل رشد خود را به خوبی طی کند تا بتواند به عملکرد قابل قبولی دست یابد. همچنین ذخیره و انباشت مواد غذایی در بافت‌های گیاهی در زمان رشد پاییزه اتفاق می افتد و به مرور افزایش می‌یابد، در زمان حاکمیت سرما، باعث غلیظ شدن شیره گیاهی و نهایتاً مقاومت گیاه در مقابل انجماد و سرمازدگی می‌شود، توسعه و گسترش و رشد بافت‌های ریشه در مرحله رشد پاییزه شروع و توان جذب آب بیشتر شده و در نهایت مقاومت لازم را مقابل تنش‌های خشکی کسب می‌کند (۲۹).

جدول ۵- سنجه‌های ریسک در سطوح احتمالاتی مختلف برای متغیر عملکرد گندم دیم اهر

Table 5- Risk Metrics in different probability levels for Ahar rainfed wheat variable

توزیع Distribution	عملکرد Yield	سطوح احتمال Probability levels	VaR به صورت انحراف از میانگین VaR as a deviation from the mean	CVaR به صورت انحراف از میانگین CVaR as a deviation from the mean
بتا Beta	دوره پایه Basic period	۱ درصد	0.346	0.407
		۵ درصد	0.214	0.292
		۱۰ درصد	0.158	0.238
	دوره آتی Future period	۱ درصد	0.207	0.249
		۵ درصد	0.131	0.177
		۱۰ درصد	0.97	0.145
میزان تغییر عملکرد Yield Variation amount		۱ درصد	-0.139	-0.158
		۵ درصد	-0.83	-0.115
		۱۰ درصد	-0.61	-0.93
ویکبای Wakeby	دوره پایه Basic period	۱ درصد	0.662	0.760
		۵ درصد	0.326	0.402
		۱۰ درصد	0.108	0.259
	دوره آتی Future period	۱ درصد	0.325	0.357
		۵ درصد	0.245	0.254
		۱۰ درصد	0.77	0.182
	میزان تغییر عملکرد Yield Variation amount	۱ درصد	-0.297	-0.403
		۵ درصد	-0.81	-0.148
		۱۰ درصد	-0.31	-0.77

مأخذ: یافته‌های تحقیق

Source: Research findings

دماهای حداقل و حداکثر در بیشتر ماه‌های سال افزایشی است و بیشترین تغییر را در فصل بهار و تابستان تجربه می‌کند، تابش خورشیدی هم بیشترین افزایش در فصل بهار تجربه می‌کند که افزایش هر سه مورد برای رشد گیاه مزیت به حساب می‌آیند به این دلیل که منطقه اهر جز مناطق کوهستانی و سردسیر می‌باشد افزایش دما موجب تنش حرارتی گیاه نشده بلکه رشد گیاه را افزایش می‌دهد. افزایش تشعشع خورشیدی نیز باعث افزایش سطح تغذیه گیاه شده و در رشد آن تاثیر مثبتی دارد. تنها عاملی که تأثیر منفی بر افزایش عملکرد دارد افزایش قدرت تبخیر جو ناشی از افزایش دما است که سبب می‌شود میزان آب در دسترس گیاه کاهش یافته و روی عملکرد تأثیر منفی بگذارد. از طرفی دیگر افزایش غلظت گاز کربن دی اکسید نیز باعث افزایش فتوسنتز گیاه شده و روی عملکرد تأثیر مثبت دارد. بنابراین براساس آنچه که گفته شد عملکرد محصول در اثر تغییر اقلیم مدل HadCM3 تحت سناریو انتشار A2 دارای روند افزایشی است که براساس آن ریسک عملکرد در اثر تغییر اقلیم کاهش یافت که با توجه به جهت تغییرات و میزان تغییرات هر یک از متغیرهای آب و هوایی که در بالا ذکر شد قابل انتظار است. با توجه به مطالب مذکور چون یکی از مهم‌ترین عواملی که باعث افزایش ریسک عملکرد می‌شود افزایش تبخیر از سطح خاک است که برای کاهش تبخیر استفاده از خاک‌پوش‌های مصنوعی مثل پشم شیشه و لایه‌های

پلاستیکی و خاک‌پوش‌های طبیعی مانند کلش و لاش‌برگ توصیه می‌شود. همچنین در کاهش ریسک عملکرد تغییر اقلیم اقدامات مدیریتی مزرعه بسیار مهم است که یکی از اقدامات مؤثر تنظیم تاریخ کاشت براساس بارندگی مؤثر است که براساس نتایج مطالعه در صورتی که گیاه رشد پاییزه را به خوبی طی کند ریسک کاهش خواهد یافت، از این رو به کشاورزان توصیه می‌شود با کاشت به موقع از کوتاه شدن دوره رشد و کاهش عملکرد ناشی از آن جلوگیری کنند.

منابع

1- Ababaei B., Sohrabi T., Mirzaei F., Rezaverdinejad V., and Karimi B. 2010. Climate change impact on wheat yield and analysis of the related risks: (case study: Esfahan Ruddasht region). Journal of Water and Soil Science, 20(3):136-150. (In Persian with English abstract).

2- Abassi F., Babaiyan E., Habibi Nokhandan M., Goli Mokhtari L., and Malbousi Sh. 2010. Climate change assessment over Iran in the future decades using MAGICC-SCENGEN model. Journal Physical Geography Research Quarterly, 42: 91-110. (In Persian)

3- Blance E. 2012. The impact of climate change on crop yields in Sub-Saharan Africa. American Journal of Climate Change, 1:1-13.

4- Bokusheva R. 2010. Measuring the dependence structure between yield and weather variables. ETH Zurich, Institute for Environmental Decisions, 1-35. Available at https://mpra.ub.uni-muenchen.de/22786/, MPRA Paper No. 22786.

5- Boskabadi E., Kohansal M., and Ghorbani M. How does climate change affect the wheat production in Mashhad?. p. 189-208. Researches of the 8th Biennial Conference of Iranian Agricultural Economics Society, 9-10 May. 2012. Sustainable agriculture and food security., Shiraz, Iran.

6- Chen S.L., and Miranda M.J. 2008. Modeling Texas dryland cotton yields, with application to crop insurance actuarial rating. Journal of Agricultural and Applied Economics, 40(1): 239-252.

7- Department of Environment Islamic Republic of Iran. 2008. Iran's second national communication to UNFCCC: fourth part assessing vulnerability and adaptability. 1-124. (In Persian).

8- Department of Environment Islamic Republic of Iran. 2008. Master in green management: climate change. Assistance of Education and Research, Department of Participation and Public Education, 4:1-15. (In Persian).

9- Department of Meteorology of the East Azarbaijan Province. 2016. Database of weather and climate data, Tabriz.

10- Goodwin B.K. 2012. Copula-based models of systemic risk in US. Agriculture: implications for crop insurance and reinsurance contracts. The NBER Conference on Insurance Markets and Catastrophe Risk, Massachusetts United States, Boston.

11- Habibi M. 2008. Climate Modeling and Climate Change in Iran. National Center of Climatology, Available at http://www.cri.ac.ir/index.php?lang=en

12- Houghton j., Meira Filho l., Callander B., Harris N., Kattenberg A., and Maskell K. 1996. Climate change 1995- the science of climate change. Contribution of WGI to the Second Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press, Cambridge.

13- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2016. Available at https://www.ipcc.ch/.

14- Jihad Agriculture Management of Ahar County. 2016. State of agriculture in Ahar County.

15- Jihad Agriculture Organization of East Azerbaijan. 2016. State of agriculture in East Azarbaijan province.

16- Khaliliaqdam N., Mosaedi A., Soltani A., and Kamkar B. 2013. Evaluation of ability of LARS-WG model for simulating some weather parameters in Sanandaj. Journal of Water and Soil Conservation, 19(4): 85-122. (In Persian with English abstract).

17- Khorani A., and Monjazeb Marvdashti S. 2014. Investigating the effects of climate change on the number of visitors in Hengam Island. Journal Physical Geography Research Quarterly, 46(1): 930-939. (In Persian).

18- Kodra B. 2007. Risk analysis of Tilapla recirculating aquaculture systems: a Monte Carlo simulation approach. Thesis submitted to the faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science.

19- Koocheki A., Nasiry M., and Kamali G. 2007. Climate indices of Iran under climate change. Iranian Journal of Field Crops Research, 5(1):133-142. (In Persian with English abstract).

20- Koocheki A., and Kamali GH. 2010. Climate change and rainfed wheat production in Iran. Iranian Journal of Field Crops Research, 8(3):508-520. (In Persian).

21- Li H., Fan X., Li Y., Zhou Y., Jin Z., and Liu Z. 2012. Approaches to VaR. Stanford University, MS&E 444 Investment Practice Project.

22- Ministry of Agriculture –Jahad. 2016. Agriculture Statistics Available at http://www.maj.ir/

23- Miranda M and Vedenov, 2001. Innovations in agricultural and natural disaster insurance. American Journal of Agricultural Economic, 83 (3):65-650.

24- Neil Bird D., Benabdallah S., Gouda N., Hummel F., Köberl J., La Jeunesse I., Meyer S., Neil Prettenthaler F., Soddu A., and Woess-Gallasch S. 2015. Modelling climate impacts on and adaptation strategies for agriculture in Sardinia and Tunisia using aquacrop and Value-at-Risk. Science of the Total Environment, 543(B):1019-1027.

25- Nelson Carl H. 1990. The influence of distributional assumptions on the calculation of crop insurance permia. North Centeral Journal of Agricultural Economics, 12(1): 71-78.

26- Palisade Corporation. (2004) Guide to Using @Risk: Risk Analysis and Simulation. Available at http://www.palisade.com/

27- Pishbahar E., GHahremanzadeh M., and Darparniyan S. 2015. Effects of climate Change on Maize yield in Iran: application of spatial econometric approach with panel data. Journal Agricultural Economics Research, 7(2): 83-106. (In Persian).

28- Pishbahar E., Abedi S., Dashti G., and Kianirad A. 2015. Weather-Based Crop Insurance (WBCI) Premium for Rainfed Wheat in Miyaneh County: D-Vine Copula Approach Application. Journal Iranian Agricultural Economics Society, 9(3): 37-62. (In Persian).

29- Pashapur H., Khalilzadeh Gh., and Abdul Azimzadeh R., 2016. Wheat and autumn agriculture in rainfed conditions of cold regions. Journal of the West Azarbaijan Jihad-e-Agriculture Organization, Agricultural Coordination Management, First Edition, 1-28.

30- Prettenthaler F., Koberl J., and Neil Bird D. 2015. Weather value at risk: A uniform approach to describe and compare sectoral income risks from climate change. Science of the Total Environment, 543(B): 10-1018

31- Raes D., Steduto P., Hsaio T.C., and Fereres E. 2011. FAO cropwater productivity model to simulate yield response to water. Reference Manual, Version 3.1, and chapter 1.

32- Rahnama Rodposhti F., and Ghandehari S. 2015. Active portfolio management with bench marking: adding a value-at-risk constraint. Journal Financial Engineering and Portfolio Management, 6(24): 91-113. (In Persian).

33- Roudier P., Sultan B., Quirion P., and Berg A. 2011. The impact of future climate change on West African crop yields: What does the recent literature say?. Global Environmental Change, 21 (3): 1073-1083.

34- Salami A. 2003. An overview of the Monte Carlo simulation method. Journal Economics Research, 3(8):117-138. (In Persian).

35- Sarykalin S., Serraino G., and Uryasev S. 2008. Value-at-risk vs. conditional value-at-risk in risk management and optimization. Tutorials in Operations Research, 270-294.

36- Sayari N., Alizadeh A., Bannayan Awal M., Farid Hossaini A., and Hesami Kermani M. 2011. Comparison of two GCM models (HadCM3 and GCM2) for the prediction of climate parameters and crop water use under climate change (case study: Kashafrood basin). Journal of Water and Soil, 25(4): 912-925. (In Persian with English abstract).

37- Semenov M.A., and Barrow E.M. 2002. LARS-WG A stochastic weather generator for use in climate impact studies, User’s manual, Version3.0. Rothamsted Research, 1-27.

38- Taei Semiromi S., Moradi H., and Khodagholi M. 2014. Simulation and prediction some of climate variable by using multi line SDSM and Global Circulation Models (case study: bar watershed Nayshabour). Journal of Human and Environment, 12(28):1-15. (In Persian).

39- Tesarova V. 2012. Value at risk: GARCH vs stochastic volatility models: empirical study. Master Thesis, Charles University in Prague, Faculty of Social Sciences, Institute of Economic Studies.